

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl<sup>7</sup>

G01F 1/36

G01F 25/00



# [12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 02809582.0

[43] 公开日 2004 年 7 月 21 日

[11] 公开号 CN 1514928A

[22] 申请日 2002.5.8 [21] 申请号 02809582.0

[30] 优先权

[32] 2001.5.9 [33] US [31] 09/852,102

[86] 国际申请 PCT/US2002/014934 2002.5.8

[87] 国际公布 WO2002/090894 英 2002.11.14

[85] 进入国家阶段日期 2003.11.7

[71] 申请人 罗斯蒙德公司

地址 美国明尼苏达州

[72] 发明人 埃瑞·伊尔瑞克

卡迪尔·卡娃克迪奥鲁

[74] 专利代理机构 中科专利商标代理有限责任公  
司

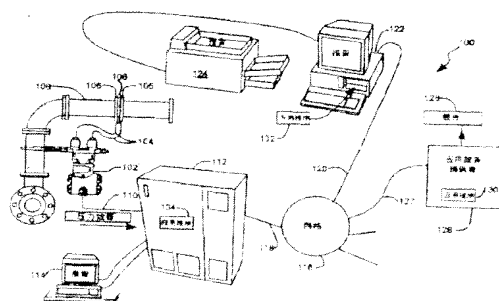
代理人 陈瑞丰

权利要求书 5 页 说明书 17 页 附图 14 页

[54] 发明名称 流量诊断系统

[57] 摘要

本申请公开了一种用于流量传感元件和冲量传输线(104)的流量诊断系统(100)。与冲量传输线(104)相连的压力传感器(102)向控制系统(112)提供数字压力数据。控制系统(112)向诊断应用程序(130、132 或 134)提供压力数据和实时时钟指示。诊断应用程序(130、132 或 134)计算现行压力数据与其流动平均值之间的差值。由现行压力数据集与历史数据集的相对关系诊断主元件或冲量传输线的工况。诊断应用程序可通过控制系统(112)、远程计算机(122)或 ASP 应用服务提供者(126)进行。



1. 一种可通过冲量传输线与主流量传感元件相连的流量诊断系统，所述流量诊断系统包括：

5       与冲量传输线相连并产生代表压力的数字压力数据的压力传感器；  
      控制系统，所述控制系统接收压力数据并将压力数据和与其相关的实时时钟读数提供给存储在所述流量诊断系统中的诊断应用程序，所述诊断应用程序包括：

      用于计算所述压力数据与压力数据流动平均值二者之差的第一算  
10   法，

      第二算法，用于接收所述差值和计算训练模式中历史压力数据的训练数据集及计算监测模式中的现行压力数据集，从而生成作为与表示流量传感条件的变化情况的历史压力数据相关的现行压力数据的函数的诊断数据；和

15       用于产生诊断数据报告的第三算法。

2. 根据权利要求 1 所述的流量诊断系统，其中所述诊断应用程序存储在控制系统中。

20       3. 根据权利要求 2 所述的流量诊断系统，其特征在于进一步包括一个与控制系统相连的网络，所述网络向所述控制系统提供诊断应用程序。

      4. 根据权利要求 3 所述的流量诊断系统，其中所述网络包括一个  
25   应用服务提供者（ASP），它可通过网络向控制系统提供诊断应用程序。

      5. 根据权利要求 3 所述的流量诊断系统，其中所述压力数据及与其相关的实时时钟读数暂时性地存储在控制系统中，之后通过网络传输到诊断应用程序。

30

6. 根据权利要求 1 所述的流量诊断系统, 其特征在于进一步包括一个应用服务提供者 (ASP), 其中所述控制系统向所述 ASP 提供压力数据和与其相关的实时时钟读数, 所述诊断应用程序存储在 ASP 中。

5 7. 根据权利要求 1 所述的流量诊断系统, 其中所述的压力传感器向所述控制系统提供实时时钟读数。

8. 根据权利要求 1 所述的流量诊断系统, 其中所述控制系统产生实时时钟读数。

10

9. 根据权利要求 1 所述的流量诊断系统, 进一步包括一个远程计算机, 控制系统向所述远程计算机提供压力数据和与其相关的实时时钟读数, 诊断应用程序存储在所述远程计算机中。

15 10. 根据权利要求 1 所述的流量诊断系统, 其中所述流动均值按下述方程计算:

$$A_j = \sum_{K=0}^m (P_{j+K}) (W_K)$$

20 其中, A 为流动均值, P 为系列传感压力值, W 为传感压力值的权重, m 为数列中在此之前的传感压力值的数目。

11. 根据权利要求 1 所述的流量诊断系统, 其中所述训练数据集包括统计数据。

25

12. 根据权利要求 1 所述的流量诊断系统, 其中所述诊断数据表示压力产生部件的实时工况, 所述压力产生部件包括主元件和冲量传输线。

13. 根据权利要求 1 所述的流量诊断系统, 其中所述诊断数据表示主流量元件的工况。

30

14. 根据权利要求 1 所述的流量诊断系统，其中所述诊断数据表示冲量传输线的工况。

5        15. 根据权利要求 1 所述的流量诊断系统，其中所述压力数据包括校准输出，所述诊断数据表示包含主元件和冲量传输线的压力产生部件是否超出校准范围之外。

16. 根据权利要求 1 所述的流量诊断系统，其中所述历史数据的训练数据集包括差分的功率谱密度。

17. 根据权利要求 16 所述的流量诊断系统，其中所述功率谱密度数据的频率范围为 0-100 赫兹。

15        18. 根据权利要求 1 所述的流量诊断系统，其中所述压力传感器适合于与皮托管主流量元件相连。

19. 根据权利要求 18 所述的流量诊断系统，其中所述皮托管为均值皮托管。

20        20. 根据权利要求 18 所述的流量诊断系统，其特征在于进一步包括一个安装在压力传感器与包括主元件和冲量传输线的压力产生部件之间的仪器复式接头。

25        21. 根据权利要求 1 所述的流量诊断系统，其中所述主流量元件与冲量传输线相互结合成一个孔板。

30        22. 根据权利要求 1 所述的流量诊断系统，其中所述压力传感器可与主流量元件文托里管相连。

23. 根据权利要求1所述的流量诊断系统,其中所述压力传感器可与主流量元件喷嘴连用。

5        24. 根据权利要求1所述的流量诊断系统,其中所述压力传感器可与适合夹在管道法兰间的主流量元件孔板连接。

25. 根据权利要求1所述的流量诊断系统,其特征在于进一步包括一个信号预处理器算法,它可向第一差分算法器中的信号评价器提供输出。  
10

26. 根据权利要求25所述的流量诊断系统,其中所述的信号预处理算法可使用从小波变换、傅立叶变换、神经网络或统计分析中所选择出的处理算法。  
15

27. 根据权利要求25所述的流量诊断系统,其中所述的信号预处理算法在第一差分算法中实施。

28. 一种存储有指令集的计算机可读介质,所述指令可被流量诊断系统执行以使所述流量诊断系统对与压力传感器相连的主元件和冲量传输线实施诊断操作,所述指令集包括:  
20

计算压力传感器检测的压力与其流动均值之间的差;  
获取和存储所述流量诊断系统训练模式下所计算差值的历史数据集;  
25

获取和存储所述流量诊断系统监测模式下所计算差值的现行数据集;  
30

比较上述现行数据集与历史数据集,以诊断由主元件或冲量传输线所构成的其中一组的工况;

产生诊断报告,该报告表示由主元件或冲量传输线所构成的其中一组的工况。

29. 一种在流量诊断系统中实施的、用于监测过程控制系统中主元件或冲量传输管线工况是否恶化的方法，包括：

获取与过程流体流量相关的测量信号；

5 由存储器检索基线主元件或冲量传输线的基线统计参数；

计算测量信号的现行统计参数；

比较基线统计参数与现行统计参数；以及

根据比较诊断输出的结果提供表明主元件或冲量传输线工况恶化的诊断报告。

10

30. 根据权利要求 29 所述的方法，其中所述比较阶段包括进行模糊逻辑运算。

15

31. 根据权利要求 29 所述的方法，其中所述计算包括计算标准偏差。

32. 根据权利要求 29 所述的方法，其中所述流量诊断系统包括压差传感器。

20

33. 根据权利要求 29 所述的方法，其中所述的主元件从由文托里管、流量喷嘴或均值皮托管所构成的主元件组中选取。

34. 根据权利要求 29 所述的方法，其中所述的基线主元件为全新的主元件。

25

35. 根据权利要求 29 所述的方法，其中所述的基准冲量传输线为全新的冲量传输管线。

30

36. 根据权利要求 29 所述的方法，其中在进行所述的参数比较时可选用由神经网络、模糊逻辑、小波变换和傅立叶变换等所构成的算法组中的算法。

## 流量诊断系统

## 5 技术领域

本发明涉及流体过程控制系统，特别是涉及过程控制系统中的流体流量诊断系统。

## 背景技术

- 10 流体流量计用于在工业工程控制环境中检测流体流量和向流量表和控制器提供流量信号。推理式流量计通过测量管道中非连续点附近的压力降来测量管道中的流体流量。非连续点（主元件）可以是安装在管道中的一个孔板、喷嘴、文杜里管、皮托管、涡流栅和觇标，甚至可以就
- 15 是一段弯管。在非连续点附近的流动会产生压力降和增加紊流度。压力降可通过安装在管道外并通过冲量（impulse）传输线或脉冲通道与管道内流体相连的压力传感器（次级元件）进行传感，其可靠性取决于保持准确的校准。主元件的腐蚀或固体物质在它上面的附着会使校准产生变化。冲量传输线长期工作可能产生堵塞，也会对校准产生负面影响。

- 对冲量传输线进行拆装检查是检验和校正冲量传输线堵塞的一种方法。另外一种已知的堵塞校正方法是定期地在压力传感器测量信号上增加一个“校正脉冲”。校正脉冲引发与传感器相连的控制系统使流体的流动产生扰动。如果压力传感器不能精确地传感这种扰动，将会产生表明
- 20 线路堵塞的报警信号。再有一种已知的检验堵塞的方法是测量静态压力和差分压力。如果静态和差分压力的振荡之间出现不充分相关，则发出
- 25 表明线路堵塞的报警信号。还有一种检测线路堵塞的方法是检测静态压力并使其通过高通和低通滤波器。将滤波器获得的噪声信号与一个阈值进行比较，如果噪声的偏差小于所述阈值，则产生一个表明线路阻塞的报警信号。

- 上述现有技术中的已知方法都需要配备静态压力传感器或者需要拆
- 30 装流量计，从而增加了复杂性和降低了可靠性。同时，这些已知方法也

没有对主元件的工况提供诊断。因此，需要具有预见性和维护简便的更好的诊断技术，以降低成本和提高可靠性。

## 发明内容

5

本发明公开了一种可通过冲量传输线与主流量传感元件相连的流量诊断系统。所述流量诊断系统可包括一个与冲量传输线相连的压力传感器，以产生反映压力的数字压力数据。

10 控制系统接收所述压力数据，并将压力数据和与其相关的实时时钟读数提供给存储在所述流量诊断系统中的诊断应用程序。

所述诊断应用程序包括一个用于计算所述压力数据与压力数据流动平均值二者之差的第一算法。

所述诊断应用程序还包括一个第二算法，用于接收所述差值和计算训练模式中历史压力数据的训练数据集及监测模式中现行压力数据集，  
15 从而生成与历史压力数据相关的作为现行压力数据集函数的诊断数据，并用它来表明流量传感工况的变化情况。

所述诊断应用程序还包括一个用于产生诊断数据报告的第三算法。

所述诊断应用程序可由操作服务器（ASP）或其他装置通过网络提供，可通过控制系统、ASP 或其他远程计算机进行运行。

20

## 附图说明

图 1 原理框图示出了可诊断冲量传输线和/或主流量传感元件工况的流量诊断系统；

25 图 2 原理框图表明作为流量诊断系统一部分的控制系统的第一实施例；

图 3 原理框图表明作为流量诊断系统一部分的控制系统第二实施例；

图 4 为诊断应用程序的结构框图；

30 图 5 框图表明对冲量传输线工况进行诊断的诊断应用程序；



图 6 框图表明对主流量元件工况进行诊断的诊断应用程序;

图 7 流程图表明冲量传输线工况的诊断流程;

图 8 流程图表明主元件工况的诊断流程;

图 9 流程图表明对冲量传输线及主元件两者工况的诊断流程;

5 图 10 曲线图表明过程变量信号幅度相对于频率和时间的变化曲线;

图 11 框图表明离散波的变换;

图 12 框图表明离散波变换的输出信号;

图 13 框图表明一个简化的神经网络;

图 14 框图表明用于提供剩余寿命估算的神经网络;

10 图 15 为表明剩余寿命相对于时间的曲线图;

图 16 表明采用皮托管作为主元件的诊断流体流量计;

图 17 结构框图表明通过现场网络与传感器进行通讯的一个计算机平台。

## 15 具体实施方式

本发明提供的流量诊断系统可对与压力传感器相连的冲量传输线和/或主元件进行诊断。诊断应用程序可通过网络由应用服务供应者 (ASP) 那里下载, 或者由 CD-ROM 或磁盘等计算机可读介质获得。诊断应用程序可在控制系统、远程计算机或 ASP 上运行并可提供诊断报告。相对于压力传感器中内置的低功能处理器而言, 诊断应用程序可在具有较高功能的处理器上运行。高功能处理器的应用使得可实时进行复杂的诊断, 可向工厂的操作人员迅速提供有关主元件、冲量传输线或两者工况的报告。传感器中内置的处理器不需要有用于诊断的处理时间, 从而可快速实施其测量任务。

图 1 为用于诊断流体管道系统 108 中主流量元件 106 和/或冲量传输线 104 工况的流量诊断系统 100 一般示例的结构框图。冲量传输线 104 和主元件 106 被统称为“压力产生器件”。

在本申请中, 使用“压力产生器件”这一词语指的是主元件 (如孔板、皮托管、喷嘴、文托里管、涡流栅、管道中的弯曲部分或其它适合

于引起流体流动压力降的非连续器件) 以及可将压力降由主元件附近连接到流体流动管道之外的冲量传输线或脉冲通道。“压力产生器件”产生的压力在流体管道外传送到压力传感器 102 时的波谱学和统计学特性会受到主元件和脉冲管线工况的影响。相连的压力传感器可以为机内的独立单元, 也可以像安装应用程序那样通过远程密封座进行安装。压力传感器 102 上的法兰(或其远程安装座) 可与冲量传输线 104 上的法兰适配接头相连接, 按常用方式实现压力的传送连接。压力传感器 102 通过冲量传输线 104 与主流量元件 106 相连, 从而对流动流量进行传感。如图所示, 主元件 106 为一个夹持在管道法兰 105 间的孔板。

10 压力传感器 102 与冲量传输线 104 相连并沿传输线 110 将压力数据传送给控制系统 112。压力传感器 102 最好为压差压力传感器。传输线 110 为典型的常用的 4-20mA 环路, 既可为传感器 102 提供所需的电能又可传输压力传感器 102 所检测的数字压力数据。压力传感器 102 包括一个可产生数字压力数据的内置微处理器, 但其计算能力受到 4-20mA 回路  
15 供电的限制。数字压力数据按工业标准规范进行传输, 采用 HART、FOUNDATION FIELDBUS、PROFIBUS、CAN 等数字格式协议。

控制系统 112 接收传输线 110 上的数字压力数据, 并向存储在流量诊断系统 100 中的诊断应用程序提供压力数据及与其相关的实时时钟读数。

20 如以下将要详细说明了, 诊断应用程序可以是存储在控制系统 112 中的处理器上并可在其上运行的应用程序 134, 也可以是存储在应用服务供应者 126 的处理器上并可在其上运行的应用程序 130, 或者是存储在远程计算机 122 中的处理器上并可在其上运行的应用程序 132, 还可以是上述情况的适当组合。在上述各种情况下, 与传感器 102 内置处理  
25 器的有限计算能力相比, 可获得更高的计算能力。此外还可考虑, 将应用程序存储在一台计算机(112、122 或 126) 上而使其在另一台计算机(112、122 或 126) 上运行。

诊断应用程序(134、130、132 或其组合) 包括第一算法, 用于计算压力数据与压力数据流动平均值之间的差。所述诊断应用程序进一步  
30 包括第二算法, 用于接收所述差值和计算训练模式中历史压力数据的训

练数据集及监测模式中现行压力数据集，从而生成作为与历史压力数据相关的现行压力数据集的函数的诊断数据，并用它来指示流量传感工况的变化情况。所述诊断应用程序还包括一个用于产生诊断数据报告的第三算法。报告可以为用户显示在控制系统的显示器 114 上，也可提供在  
5 远程计算机 122 的显示器或打印机 124 上，或者由应用服务提供者 126 的报告显示或输出装置 128 进行提供。本发明具有可向用户提供各种形式的诊断数据报告的特点。

控制系统 112 通过传输线 118 与网络 116 相连。网络 116 通过传输线 120 与远程计算机 122 相连，通过传输线 127 与应用服务提供者 126  
10 相连。一般而言，远程计算机 122 放置在工厂操作人员的办公室内，但传输线 127 连接的距离更远一些，需通过 INTERNET 连接到预期的应用服务提供者 126。

通过网络 116 可向控制系统 112 或远程计算机 122 提供诊断应用程序。网络还可向在远程计算机 122 或应用服务提供者 126 那里运行的诊  
15 断应用程序提供压力数据及与其相关的时钟读数。

图 1 所示为一般情况，并非所有的诊断系统都具有图 1 所示的全部结构和特点。

图 2 框图表明控制系统 206 的第一实施例，所述控制系统 206 为图 1 所示流量诊断系统 100 的一个部分。

20 压力传感器 200 通过冲量传输线 201 与流体流动系统中的孔板 202 相连。压力传感器 200 通过传输线 204 与控制系统 206 相连。压力传感器产生 205 所示的数字压力数据 (P) 及与其相关的实时时钟读数 (TRC)。传感器 200 伴随各个压力读数所给出的实时时钟读数表示由传感器 200 所获得的各个压力读数的相对时间。当传感器按基本上恒定的速率产生  
25 压力读数时，实时时钟读数可为简单的相应于每次读取的顺序数字；在非规则间隙地读取压力数据的情况下，实时时钟读数是每次读取的近似时间。

控制系统 206 在传感器总线接口 208 处接收到数字信息 205。传感器总线接口 208 将数据转换为适合于在控制系统 206 内部总线 210 中进行通信的数据格式。过程控制软件 214 利用数字信息 205 并使控制信号  
30

通过传输线 215 传输到阀门或其它控制装置。控制系统 206 包括网络接口 212, 当诊断应用程序不是在控制系统 206 中运行时, 可将数字信息 205 通过传输线 218 传送到网络中去。当诊断应用程序在控制系统 206 中运行时, 网络接口 212 可通过传输线 218 接收诊断应用程序并将其转换成  
5 适合于在总线 210 中传输通信的格式。网络接口 212 是双向的。控制系统 206 包括处理器、随机存取存储器、非易失存储器和 I/O 设备。

在图 2 中, 传感器 200 提供实时时钟读数。如以下结合图 3 将要说明的, 流量诊断系统也可与不提供实时时钟读数的传感器连用。

图 3 框图表明控制系统 306 的第二实施例, 所述控制系统是图 1 所示流量诊断系统 100 中的一个部分。  
10

压力传感器 300 通过冲量传输线 301 与流体流动系统中的孔板 302 相连。压力传感器 300 通过传输线 304 与控制系统 306 相连。压力传感器产生 305 所示的数字压力数据 (P)。根据传感器的设计情况, 传感器 300 可以产生也可以不产生实时时钟读数。

15 在传感器 300 产生实时时钟读数的情况下, 时钟读数通过传感器总线接口 308 和总线 310 传送到控制系统 306 内置的实时时钟电路 318。然后, 实时时钟电路 318 产生一个相应的与控制系统 306 内其它实时时钟读数同步的同步实时时钟读数。这种同步使得可对来自多个不同传感器的数据进行同步比较, 例如在应用两个绝对压力传感器检测压差的情况  
20 下。

在传感器 300 不产生任何有用的实时时钟读数的情况下, 由实时时钟电路 318 根据其接收到每个压力数据点 305 的时间来产生同步的实时时钟读数。

在上述两种情况下, 过程控制软件 314 都可使用压力数据和同步实时时钟读数并可将控制信号通过传输线 315 连接到阀门或其它控制装置。控制系统 306 包括网络接口 312, 在诊断应用程序不在控制系统 306 上运行的情况下, 用于将数字信息 (压力数据 305 和同步实时时钟读数) 通过传输线 318 传送到网络。如果与传输线 318 相连的网络繁忙或因其它原因不能访问时, 数字信息可暂时存储在存储器件 320 中, 然后通过  
30 网络传送到在远程计算机上运行的诊断应用程序。在诊断需要采用批处

理の場合，也可应用这一存储器 320。

在诊断应用程序在控制系统 306 上运行的情况下，网络接口 312 可由传输线 318 接收诊断应用程序并将其转换成适合于在控制系统 306 内部总线 310 中进行传输和通信的形式。

- 5       图 4 框图表明在远程计算机 422 上运行的诊断应用程序 432。来自压力传感器的压力数据和实时时钟读数由网络 316 通过传输线 320 提供。

存储在计算机 422 的第一算法 440 计算由网络 316 接收到的一系列数字压力数据点与一系列数字压力数据点流动平均值之差。与每个数字压力数据点相连的实时时钟读数用于保证数字压力数据点在输入到算法器 440 时能按正确的时间顺序重新装配，因其在通过网络 316 后可能会产生延迟或失序。算法 440 计算的差值通过传输线 442 传送到第二算法 444。

10

第二算法 444 也存储在计算机 422 中。第二算法 444 接收算法 440 计算的差值，计算训练模式下历史数据的训练数据集和监测模式下的现行数据集，并产生作为与历史数据相关的现行数据集的函数的诊断数据 446，以表明压力产生器件（图 4 中未画出）的工况变化。

15

第三算法 448 接收诊断数据 446 并向用户提供表明诊断数据的报告 450。如上所述，报告 450 可采用显示器显示和打印机打印等多种形式。

图 5 框图为在远程计算机 522 上运行用于诊断冲量传输线工况的诊断应用程序。

20

在图 5 中，差分（减去流动均值）算法 540 通过传输线 520 由网络 516 接收数字压力数据，并在传输线 542 产生代表传感压力减去传感压力流动均值的差分数据。算法 552 由传输线 542 接收差分数据并计算训练模式期间所得到的历史数据的训练输出 553 或时间间隔。训练后，算法 554 计算监测模式下或流体流量计正常工作时间获得的现行数据的监测输出 555。

25

在图 5 中，诊断算法 556 接收训练输出 553 和监测输出 555，产生诊断数据输出 558 以指明压力产生部件相对于历史工况的当前工况。在图 5 中，计算算法 554 在其存储器中存储历史数据，以便用于以后的比较。

30

在差分算法 540 中，流动均值按方程 1 数列进行计算：

$$A_j = \sum_{K=0}^m (P_{j+k}) (W_k) \quad \text{方程 1}$$

5        这里，A 为流动均值，P 为顺序检测到的压力值，W 为检测压力值的数值权重，m 为以前检测到的压力值在数列中的序数。数据也可由不同的电路 540 进行提供，以过滤掉检测压力中存在的尖峰和畸形。在图 5 中，历史数据包括统计数据，例如差分输出的均值  $\mu$  和标准偏差  $\sigma$  或其它统计学度量等，诊断输出 558 表明冲量传输线阻塞。诊断应用程序  
10        可通过开关 550 在安装时的训练模式和用于检测流量时的监测模式之间进行转换。计算算法 554 存储训练时的历史数据。诊断数据输出 558 表示压力产生部件的实时工况。

      在图 5 中，均值  $\mu$  和标准偏差  $\sigma$  等统计学数据在相对大量的数据点或流量测量的基础上进行计算。相应的抽样均值  $\bar{X}$  和标准偏差  $s$  等抽样  
15        统计数据则依据相对较少的数据点进行计算。一般而言，需要采用数百个数据点来计算均值  $\mu$  和标准偏差  $\sigma$  等统计学数据，而只采用 10 个左右的数据点来计算均值  $\bar{X}$  和标准偏差  $s$  等统计数据。监测时所取的数据点数目较少，以便提供实时的或 1 秒量级的诊断。当抽样标准偏差  $s$  偏离标准偏差  $\sigma$  大于预定值-例如 10% 时，算法器 556 发出线阻塞的指示。

20        图 6 框图表明在远程计算机 622 上运行、用于诊断主流量元件工况的诊断应用程序。图 6 所示诊断应用程序与图 5 所示大致相同。差分算法 640 通过传输线 620 由网络 616 接收数字压力数据。诊断应用程序可通过开关 650 在训练和监测两种模式间进行转换。

      在图 6 中，诊断输出 658 表明主元件的工况，而在图 5 中，诊断输出 558 表明冲量传输线的工况。在图 6 中，计算算法 652 和 654 计算和  
25        存储传输线 642 差分输出的功率谱密度 (PSD)，而不是图 5 中所述的统计数据。

      功率谱密度数据最好处于 0-100 赫兹的范围。带通滤波器的中心频率可扫过选定的频率范围，以便以众所周知的方式产生连续或似连续的  
30        作为频率函数的功率谱密度。在此可应用各种形式的傅立叶变换。

对给定的数据集，也可应用 Welch 平均周期解析法计算功率谱密度  $F_i$ 。这种方法应用每秒钟  $F_s$  取样的取样序列  $x(n)$ ，这里  $n=1, 2, \dots, N$ 。选用滤波频率小于  $F_s/2$  的前端滤波器，以减少波谱计算中出现混淆。以数据集除方程 2 所示的  $F_{k,i}$ ：

5

$$F_{k,i} = (1/M) \left| \sum_{n=1}^M X_k(n) e^{-j2\pi i \Delta f n} \right|^2 \quad \text{方程 2}$$

10

存在一些  $F_{k,i}$  重叠数据区，对每个区计算周期图，这里  $M$  为现行区内的点数。在计算出所有区的所有周期图后，将它们进行平均以计算功率谱：

15

$$F_i = (1/L) \sum_{K=1}^L F_{k,i} \quad \text{方程 3}$$

获得训练模式的功率谱后，将这一数列存储在存储器—最好为 EEPROM—中，用其作为与实时功率谱比较时的基线功率谱。这样， $F_i$  为功率谱数列， $i$  的取值范围为  $1-N$ ， $N$  为原始数据数列中数据点的总数。

$N$  还通常以二次方的形式确定了波谱估算的频率分辨率。因此， $F_i$  也可被理解为第  $i$  次频率的信号强度。功率谱一般包括预定频率区间内大量的点，从而决定了作为频率函数的功率谱分布的样式。

在检测主元件的工况恶化中，需将相对较大样本的基线历史工况的谱密度与相对较小样本的监测模式下的谱密度进行比较。相对较小的样本使得可在 1 秒量级对问题进行诊断。功率谱中相关频率分量的增加可表明主元件的工况恶化。例如在采用孔板作为主元件的情况下，当孔板工况恶化到预定程度时，可在相关谱分量观察到高达 10% 的变化量。需要时，可根据所采用的主元件及允许的工况恶化程度对变化量进行调节。

针对各种主元件，可通过试验确定其出现问题时的相应变化量。在对功率谱许多点进行比较时也可采用模糊逻辑。

压力数据一般为校准输出，诊断数据则表明压力产生部件是否超出了校准的范围之外。

5 图 7 为冲量传输线工况过程诊断的流程图。

702 为算法的开始。704 所示为计算差值，由差分压力数据中减去流动均值。706 所示为训练模式，在计算差值的基础上获得历史数据并在 706 中将其作为  $\mu$  和  $\sigma$  等统计数据进行存储。在工作状态或监测模式，在 708 中获得差分的现行数据并将其作为  $\underline{X}$  和  $S$  等统计数据进行存储。将较小  
10 样本的现行数据与较大样本的历史数据进行比较，以诊断冲量传输线的工况。在 710 中对历史和现行统计数据的比较分别在 712、714、716 和 718 中进行，在 730、732 和 734 中产生作为 712、714、716 和 718 的比较结果的函数的有选择的诊断输出。

在完成诊断输出后，流程由 720、722、724、726 或 728 等回路反馈  
15 到 708 继续进行监测模式下的诊断，或者关闭变送器直至其维护正常。如果诊断流程本身失效，由 736 的诊断输出给出一个出错指示。在图 7 所示的诊断方法中，历史数据集中包括所计算差分的均值  $\mu$  和标准偏差  $\sigma$  等统计数据，在现行数据集中包括计算差分的样本均值  $\underline{X}$  和标准偏差  $S$  等现行样本统计数据。例如，将样本偏差  $S$  与标准偏差  $\sigma$  进行比较，  
20 则可对冲量传输线的阻塞情况进行诊断。除了均值与标准偏差之外，还可在诊断应用程序中采用已知的或试验开发的适用统计学手段。在出现非正常流动-即  $\underline{X}$  与  $\mu$  相差很大时，可在 712 暂时关闭流量诊断系统，直至重新建立起正常的流动工况。这样有助于防止错误报警。

在图 1-7 中，传感器产生校准输出，流量诊断系统产生指示压力产生  
25 部件是否超出校准范围的诊断输出。在图 1-7 中，主元件可以是简单的皮托管，也可以是图 16 所示的均分皮托管。主元件也可与冲量传输线结合成一个孔板，如图 2-3 所示。图 1 中示出了适合于夹在管道法兰之间的孔板主元件可包括文托里管、喷嘴和孔板等等。本发明流量诊断系统可与标准的压力产生部件连用以提供其诊断输出。在训练模式，流量  
30 诊断系统可进行自我调整以适应压力产生部件的特性，并存储监测模式



或工作状态下进行比较需用的比较标准。需要时,技术人员可通过网络对比较标准进行调节。在上述各种情况下,流体流量计提供校准流量输出,而诊断报告可表明压力产生部件是否超出校准的范围。

图 8 流程图表明对主元件工况进行诊断的流程。

5       主元件的工况可包括主元件的腐蚀和阻塞等情况。所述方法或算法由 802 开始。804 表明在训练模式或时间间隔内获取数字压力数据。在 806 计算传感器数据功率谱减去流动均值后的结果。在 808 确认获得的功率谱为训练功率谱并将其存储在非易失存储器 810 中。训练后进入监测模式或正常使用状态。在 812 中计算现行压力数据的功率谱减去流动均值, 10       将得到的功率谱存储在非易失或 RAM 存储器 814 中。在 816, 对训练模式获得的功率谱  $F_t$  和监测模式获得的功率谱  $F_i$  进行比较。如果  $F_t$  和  $F_i$  之间有很大差异则表明主元件存在问题,由 818 发出主元件问题警报(PE 警报)。如果功率谱  $F_t$  和  $F_i$  两者大体相似,则不产生 PE 警报。在 816 进行比较和产生 PE 报警后,流程在需要时可继续进行,在 820 获取新的 15       实时压力数据和在 812 对流程进行新的评估,或者在出现 PE 报警时关闭流量计。图 8 流程可在监测模式下重复进行,以提供有关主元件工况的实时信息。

图 9 流程图表明对主元件(PE)和冲量传输线(IL)两者进行诊断的情况。程序由 902 开始。与上述图 8 中情况相同,在 904 中的计算训练模式中,获得减去流动均值的压力数据,并将训练功率谱和训练统计 20       数据存储在非易失存储器中。冲量传输线诊断(如在图 7 中所说明的)在图 9 中的步骤 906 进行。在图 9 中,在对冲量传输线进行诊断后,步骤 908 对现行冲量传输线统计数据与历史(训练)冲量传输线统计数据进行比较(如图 7 中所详细说明的)。如果比较的结果表明存在冲量传输 25       线阻塞的问题,则由 910 产生冲量传输线警报。如果表明冲量传输线没有问题,则流程进入 912 对主元件(PE)进行诊断。

在流程 912,计算现行实时数据的功率谱密度(如以上结合图 8 所说明的)。在 914 对现行功率谱密度与历史功率谱密度进行比较,如果两者之间的差异大到表明主元件存在问题,则在 916 发出 PE 警报。如果两个功率谱密度之间的差异较小,则在 918 不产生 PE 报警。流程可继续进 30

入 920 以重复 IL 和 PE 诊断，或者在出现 PE 或 IL 警报时关闭流量计直至使其维修完好。

上述方法都可作为系列指令存储在计算机可读的媒体上，所述系列指令包含顺序，当通过诊断应用程序在流量诊断系统中执行时，可使流量诊断系统实施某种相应的诊断方法对与传感器相连的主元件和/或冲量传输线进行诊断。

本发明流量诊断系统还可与具有远程密封结构的传感器（未画出）连用，远程传感器通过柔性细管连接，细管中充以控制数量的硅油等绝缘液体。采用绝缘结构使传感器电子器件远离远程密封结构接触的高温过程流体。采用上述的诊断技术以提供诊断报告，所述流量诊断系统还可用于对连接细管的阻塞和泄漏进行监测。

本发明流量诊断系统还可与同液箱顶部和底部龙头相连的传感器（未画出）连用。传感器提供的输出表示液箱流入和流出液体的时间积分。所述传感器包括的电路和软件可检测龙头间的压差和计算积分流量，所计算的流量为检测差压和传感器中存储的有关检测压力与液箱液体数量关系式的函数。这一关系式一般称为捆绑函数，根据存储在传感器中捆绑函数的不同，对流入或流出液箱的液体数量可进行体积流量积分或质量流量积分。所述传感器可配置在与液箱的顶部或底部接近之处，有一个通称为“支线”的管路与液箱的另一端相连。支线可以是充以液箱内液体的湿支线管，也可以是充以气体的干支线管。远程密封结构也可用于这种传感器。

在一个实施例中，流量诊断系统包括一个信号预处理器算法，可在压力数据中分离出与冲量传输线阻塞或主元件工况恶化有关的频率、幅度等信号分量或信号特性。所述信号处理器通过滤波、进行小波变换或傅立叶变换、采用神经网络、统计分析或其它信号处理技术，将信号中的某些分量分离出来。这种前期处理最好在差分算法或特殊的数字信号处理器中进行。

通过信号处理技术使一些信号分量分离出来，只对频率或幅度等预期的信号特性进行识别和计算并对其识别提供指示。根据欲检测信号的强度和频率，信号预处理器可包括一个滤波器，例如带通滤波器，以产

生分离信号输出。对更精确的分离可采用快速傅立叶变换（FFT）等先进的信号处理技术来获得传感信号的波谱。在一个优选实施例中，信号处理器中包括小波处理器，可采用离散小波变换对传感信号进行小波分析，如图 10、11 和 12 所示。小波分析非常适合于对在时间域内具有瞬变或其他非稳定特性的信号进行分析。与傅立叶变换不同，小波分析保留时间域信息-即事件是在何时发生的信息。

小波分析是将时间域信号转换为频率域信号中所用的一种技术，它像傅立叶变换一样可识别频率分量。但与傅立叶变换不同，小波变换的输出中包含与时间有关的信息。这可采用三维图形的形式来进行表述：  
10 将时间表示在一轴上，频率表示在第二轴，信号幅度表示在第三个轴上。L. Xiaoli 等人在《智能制造杂志》1997 年第八期的“采用小波模糊神经网络的在线工具工况监测系统”一文中对小波分析进行了讨论。在进行连续小波变换中，有部分传感信号被窗口限幅和与小波函数进行卷积。所述卷积是在样本开始处将小波函数叠加上去，使小波函数与信号相乘，  
15 然后对其结果在样本周期内进行积分。将积分结果进行换算和给出连续小波变换在时间等于零时的第一个值。然后可将这一点映象到三维平面。小波函数随时间而变化，相乘和积分重复进行以获得另外系列的数据点并将它们变换到三维空间。这一过程重复进行，使小波在整个信号上卷过（运动）。这样，上述步骤反复进行，使小波函数不断定标以改变变换  
20 中频率解。

图 10 图形表明压力传感器检测的压力数据等过程参数信号的幅度与频率及与时间之间的关系。图 10 中示出了数字压力数据小波变换后的数据。所述数据反映到三维空间之中，形成表面 170。如图 10 图形所示，数字压力数据包括两个信号峰值 172 和 174，较小的峰值 172 出现在时间 t1 和频率约为 1000 赫兹的情况下，另一个峰值 174 出现在时间 t2 和约为 100 赫兹的频率下。通过信号评价器的后续处理，对数据表面 170 或部分表面 170 的评价可表明冲量传输线或主元件的工况是否恶化。

上述连续小波变换需要进行大量的计算。因此，在一个实施例中，采用了适合于在控制系统或个人计算机上实时进行的离散小波变换  
30 （DWT）。一种有效的离散小波变换应用 Mallat 算法，即两通道分波段

编码器。Mallat 算法可提供一系列分离的或分解的信号，以代表原信号  
的各频率分量。

图 11 为离散小波变换的框图。图 11 表明应用 Mallat 算法分波段编  
码器分解信号  $S$  或原数字压力数据的一个例子。信号  $S$  的频率范围为  $0-$   
5  $f_{\text{MAX}}$ 。信号  $S$  同时通过频率范围为  $1/2 f_{\text{MAX}}- f_{\text{MAX}}$  的第一高通滤波器 250  
和频率范围为  $0-1/2 f_{\text{MAX}}$  的低通滤波器 252。这一过程称为分解。高通滤  
波器的输出提供“一阶”离散小波变换系数 254。一阶系数 254 代表一  
个信号幅度，所述幅度是  $1/2 f_{\text{MAX}}-f_{\text{MAX}}$  频率范围内部分输入信号的时间  
函数。 $0- f_{\text{MAX}}$  低通滤波器 252 的输出再通过后续的高通滤波器 256 ( $1/4$   
10  $f_{\text{MAX}}-1/2 f_{\text{MAX}}$ ) 和低通滤波器 258 ( $0-1/4 f_{\text{MAX}}$ )，如上所述，以提供高于  
“一阶”的离散小波变换系数。在需要时，每一低通滤波器的输出都可  
进一步进行分解，以提供更高阶次的离散小波变换系数。继续进行这一  
过程，直至获得预期解或剩余数据样本的数量在分解后不会再给出有用  
信息。小波变换的分辨率应大致与传感器的相同，或与信号监测所要求  
15 的最小信号分辨率基本一致。每个阶次的 DWT 系数都代表在给定频率  
范围内作为时间函数的信号幅度。将每个频率段的系数衔接起来则将产  
生图 10 所示的图形。

在某些实施例中增加了数据充填，即在小波分析所用的窗口边缘附  
近的传感信号上增加充填数据。这种充填可减少频率域输出的变形。这  
20 一技术可用于连续小波变换及离散小波变换。“充填”指的是在当前运行  
数据窗口的任一边添加额外数据，例如在运行窗口的边框外在窗口 25%  
的范围添加额外的数据点。在一个实施例中，通过重复运行窗口内的数  
据而使增加的数据“充填”到两侧的信号上。然后将整个数据集代入外  
推现运行窗口外 25%范围内信号的二次方程。

25 图 12 图形表明一个如图 11 所示的离散小波变换的信号输出。图 12  
示出一个例子，表明压力传感器产生的信号  $S$  及经 1-7 七次分解后产生  
的近似信号。在本例中，七阶信号表示可产生的最低频率 DWT 系数。  
更进一步的分解将产生噪声。所提供的是与冲量传输线或主元件工况恶  
化有关所有阶次或有关阶次。

30 算法对来自信号预处理器的分离信号进行评价，在一个实施例中，

算法监测某个确定频率或频率范围内的信号幅度，并在其超过阈值时提供诊断输出。信号评价器可包括先进的决策算法，例如模糊逻辑、神经网络、专家系统、规则基础系统（rule based system）等。美国专利申请 NO.08/623, 569 中介绍了各种可用于信号评价的决策系统，在此提及以  
5 备参考。

诊断应用程序利用由压差传感器导出的信息对冲量传输线和主元件进行诊断。以下一些实施例将说明如何实现诊断应用程序。诊断应用程序可提供剩余寿命估计、失效报警、即将失效指示或训练输出等信息，可用于纠正传感过程变量中的错误。

#### 10 A. 多项式曲线拟合

在本发明的一个实施例中，在监测传输线阻塞和主元件工况恶化中采用了试验模型或多项式曲线拟合。将各种统计参数等输入信号组合成多项式方程，利用方程来监测主元件的工况恶化和冲量传输线阻塞情况。方程中的常数可存储在存储器中或由网络下载。

#### 15 B. 神经网络

可采用神经网络对信号进行分析。所用的一种神经网络为多层神经网络。针对不同的目标，也可利用一些训练算法来开发神经网络模型。在一个实施例中，利用熟知的后传播网络（BPN）所开发的神经网络模型可处理一系列输入和输出间的非线性关系。

20 图 13 示出了一个简化的神经网络模型。图 13 示出了一个可用于诊断应用程序中的三层神经网络的典型拓扑结构。第一层 270 通常称为输入缓冲层，它由外接收信息并将其传输到更内部的层次。三层网络中的第二层 272 通常称为隐蔽层，它由输入层接收经连接结构 274 修正权重的信息并使其继续向前传输。这一点在隐蔽层 272 中进行了图示，隐蔽  
25 层一般用于反映被分析系统的非线性特性。最后一层为输出层 276，它想外界环境提供计算（估算）输出。

图 14 为用于进行剩余寿命估计的神经网络 280 的结构示意图。图 14 示出了神经网络根据传感器传感信号 284 提供对主元件或冲量传输线剩余寿命的估计 282。传感信号可以是传感器的原始信号也可以是经过信号  
30 号处理技术处理过的传感器信号。

图 15 图形 290 表明了剩余寿命 292 与时间 294 间的关系。图 15 中剩余寿命与时间的关系表明，报警水平 296 可设置在估计失效时间 298 之前。这使系统可在部件实际失效前给出一个报警输出。

### C. 阈值电路

5 本实施例通过采用一系列的“如果-那么”规则来获得有关冲量传输线或主元件工况的结论。这一实施例可通过模拟或数字电路进行实现。以一个简单的规则为例，如果信号降低到低于历史平均值的一定程度，则提供一个表明冲量传输线阻塞或即将阻塞的输出。当然，可应用一些更为复杂的阈值规则，利用传感信号更多的统计参数或信号成分以提供更精确的或不同的信息。

### D. 小波

在这一实施例中，在对传感器进行诊断的小波分析中，利用了一个或多个直接与冲量传输线阻塞有关的分解信号。

图 16 示出了一个皮托管作为主元件的诊断流体流量计。所述主元件  
15 可以是简单的皮托管也可以是如图所示的均分皮托管。皮托管 190 可插入到管道 194 的接头 192 中。仪器的复式接头 196 可安装在压力产生部件（包括皮托管 190 内的冲量传输线和皮托管入口）与压力传感器 198 之间。

图 17 示出了一个计算机平台 1，它通过接口 2 与几个 HART 交换器  
20 4 中的一个交换器相连。接口 2 可为一个 RS232-RS485 变换器、以太网连接、内部网或因特网连接、或其它适合于同计算机平台 1 通讯的接口。典型的计算机平台 1 为一台位于维修区的个人计算机，其中包括 ROSEMOUNT 公司的资产管理方案（AMS）等应用软件。每个 HART 交换器 4 都通过接线盘 8 与一个或多个压力传感器 6 相连。HART 交换器 4 通过 DIN 干线或总线 10 与控制系统 12 相连。以上结合图 1-16 所述的诊断应用程序 14 也驻留在计算机平台 1。计算机平台 1 可提供以上所述的诊断报告。图 17 所示结构可使几乎所有诊断应用程序软件都能在计算机平台 1 上运行而不必使控制系统 12 承担更多的任务，它本身就是一个小的控制系统。在此应用的“控制系统”一词包括图 1 所示的可向流  
25 体处理提供电反馈的控制系统 112 以及计算机平台 1 等可实施监测功能  
30

的计算机，所述向流体处理的反馈中包括基于计算机平台 1 所提供诊断报告基础上的人工干预。

尽管对本发明的一些优选实施例进行了展示和描述，但本领域技术人员将会理解在不偏离本发明的原理和实质的情况下，可对这些实施例  
5 进行改变，其范围也落入本发明的权利要求及其等同物所限定的范围内。例如，以上对本发明的各种功能块从算法的角度进行了说明，但很多功能块也可通过数字电路、模拟电路、软件或他们之间的混合来加以实现。当以软件的形式予以实现时，由处理器来实现有关功能，软件操作所需的数字数据包含在信号之中。可采用软件、硬件或软硬件结合的方式，  
10 例如使通用处理器带有可实现预期处理过程的程序，或使硬件中包含可实现特定处理过程的电路等。在软件和硬件电路中，在需要时可采用决定论或模糊逻辑方面的技术进行决策。由于数字电路的复杂性，有些电路元件不一定属于某功能块所专用，而是用于各功能块的有些元件或部件可以共用或混合使用。软件的情况与此类似，有些指令可被几个功能  
15 所共用或者与本发明中与其无关的指令混合使用。

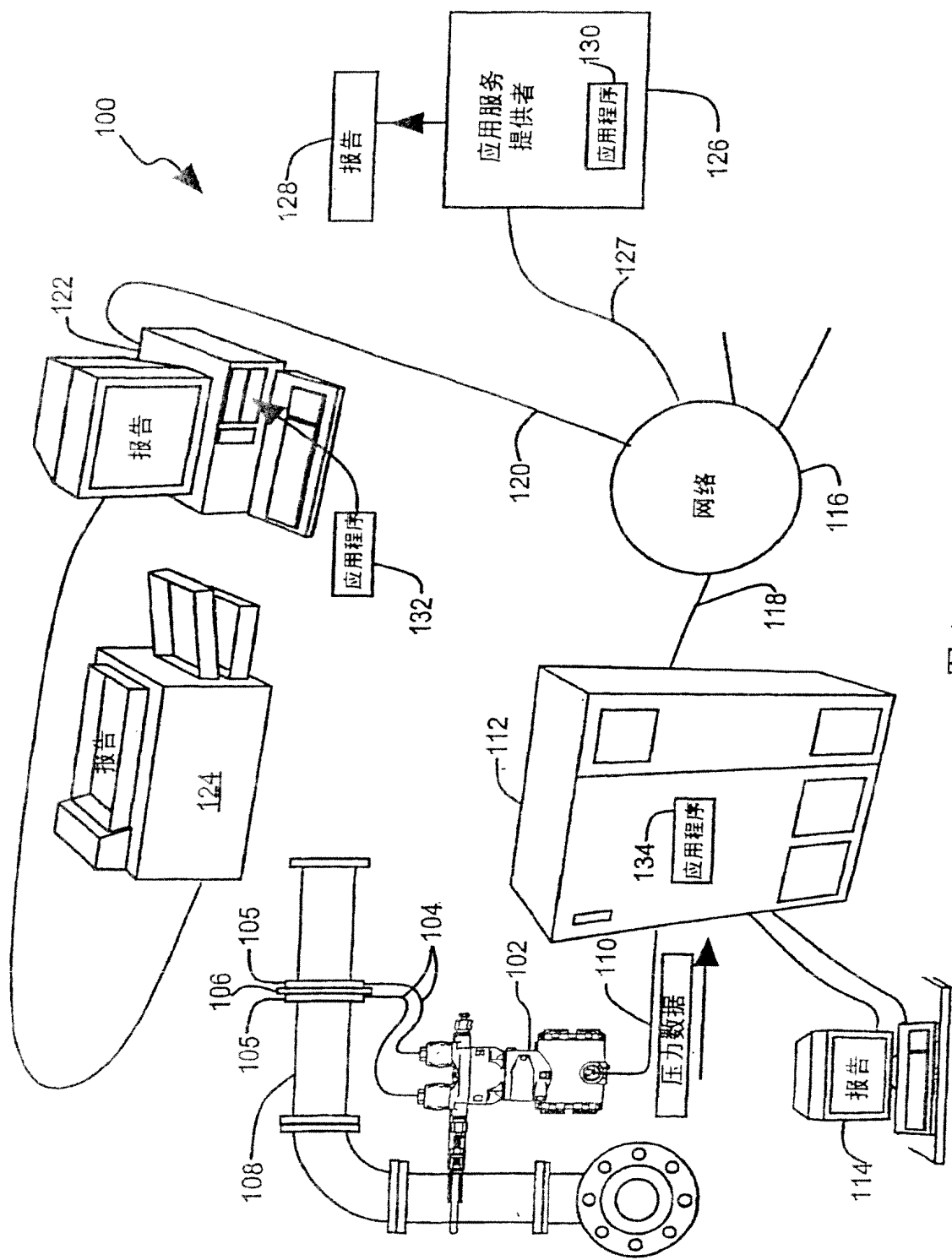


图 1



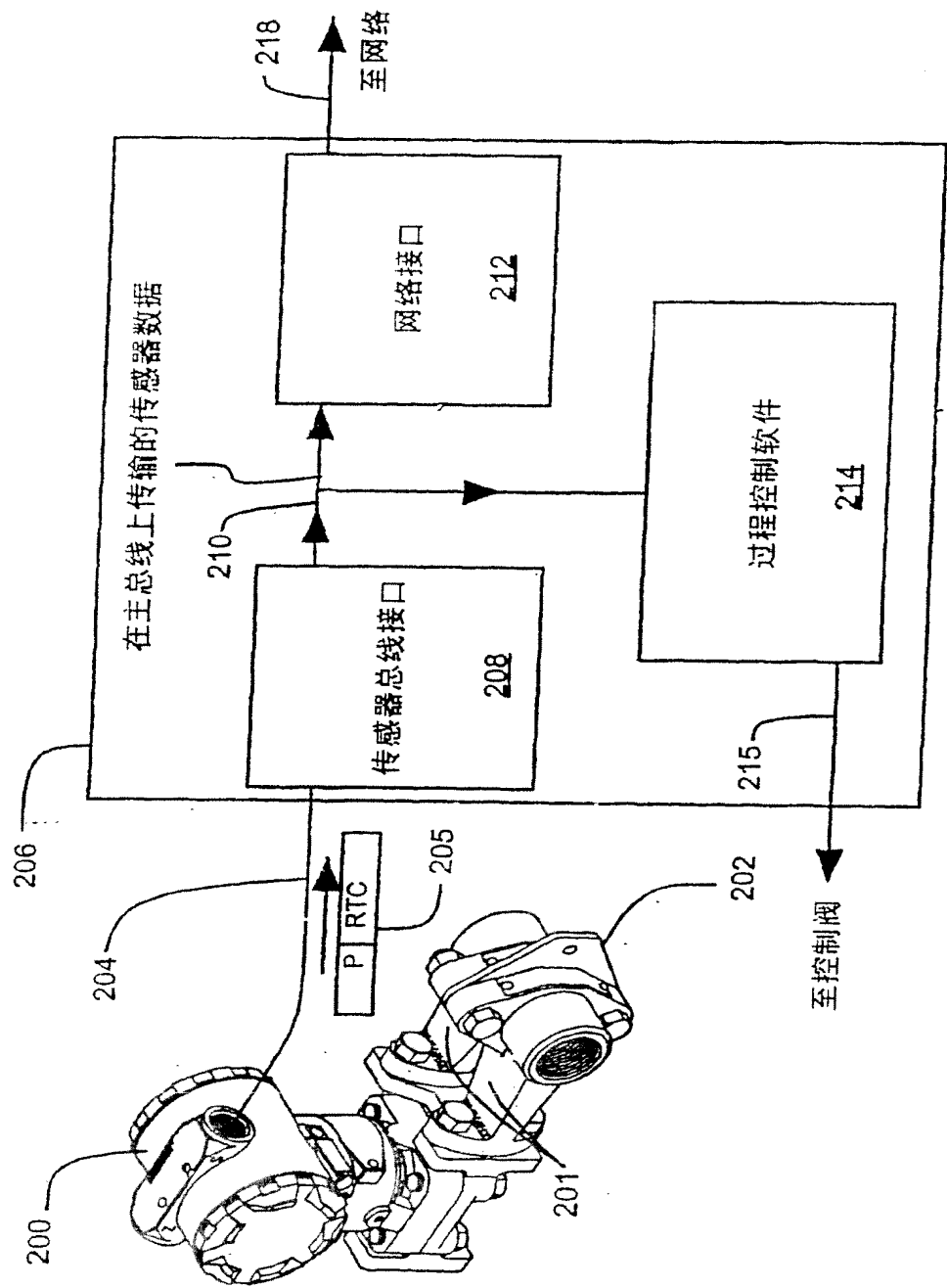
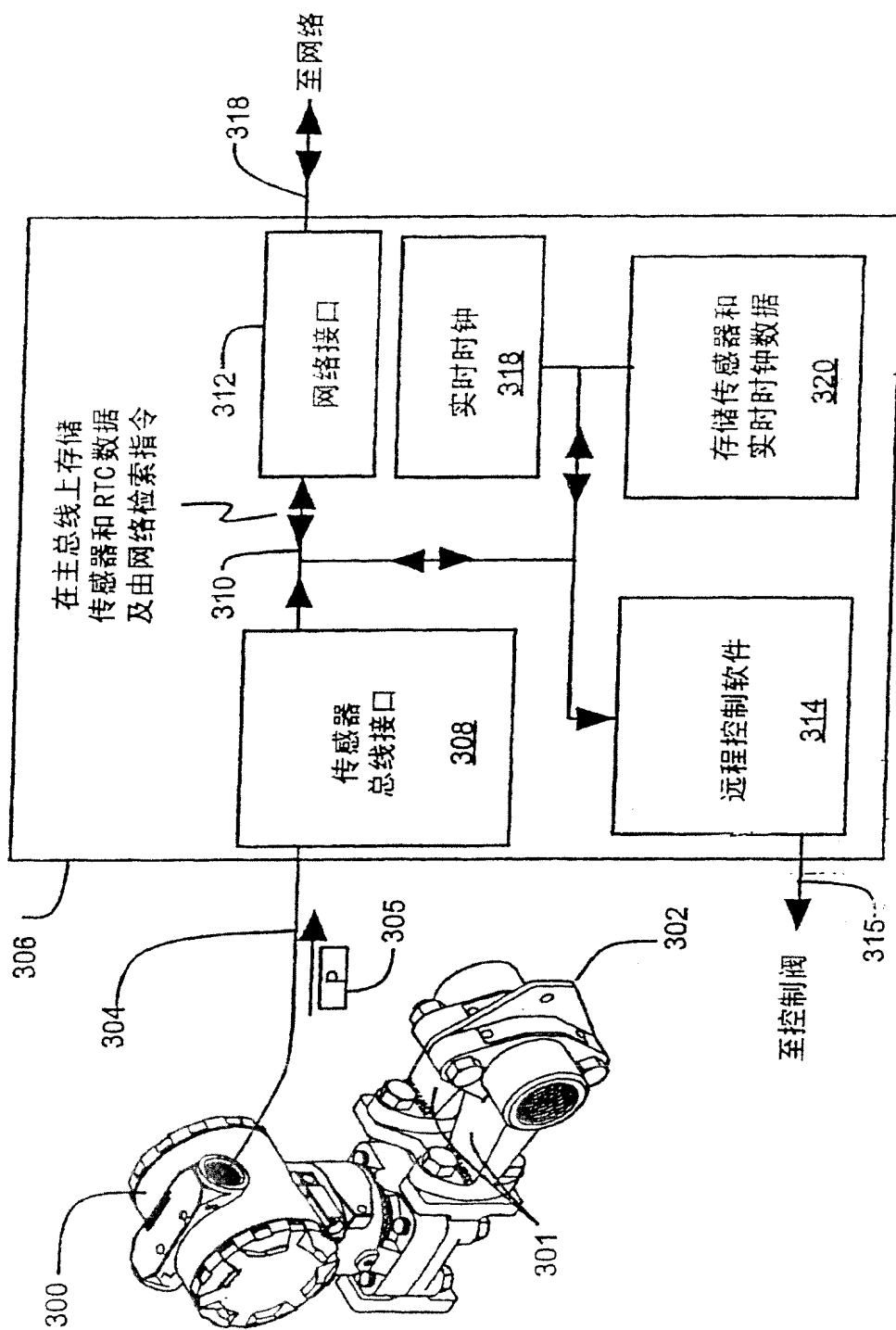


图 2



3  
全

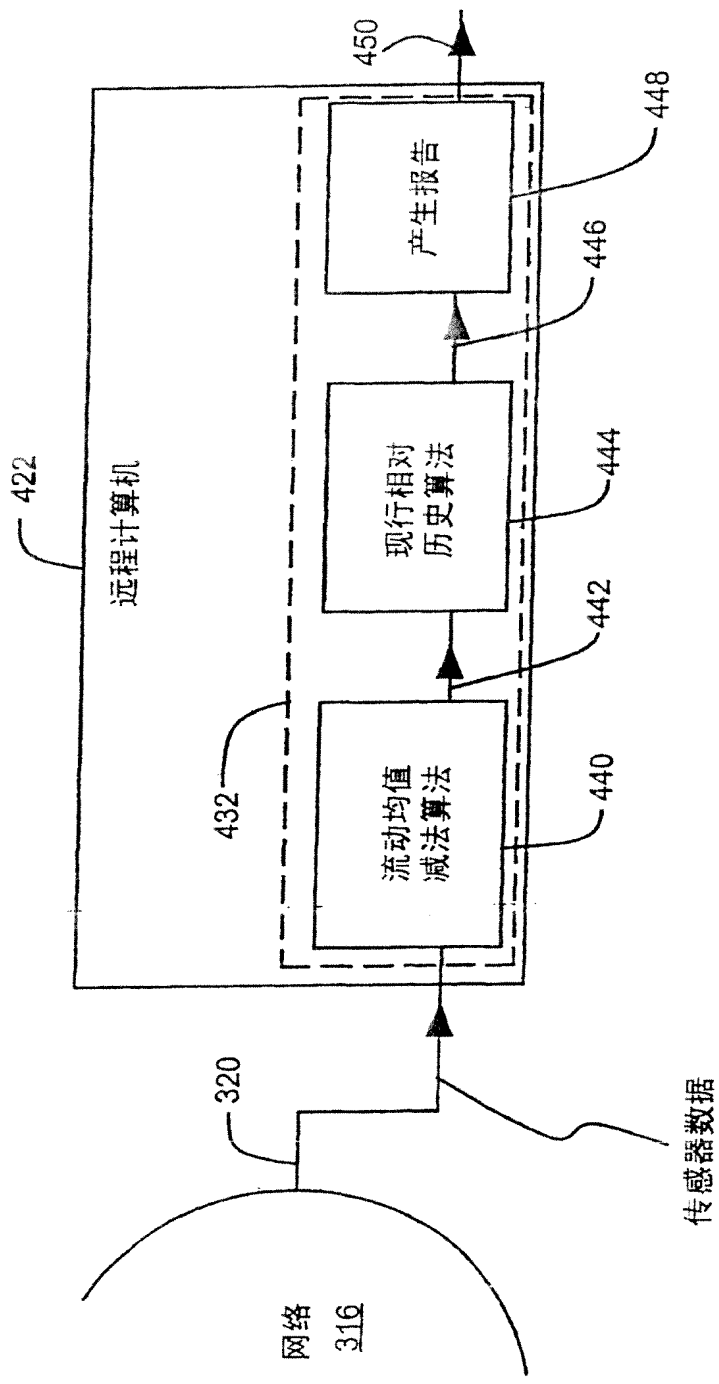


图 4

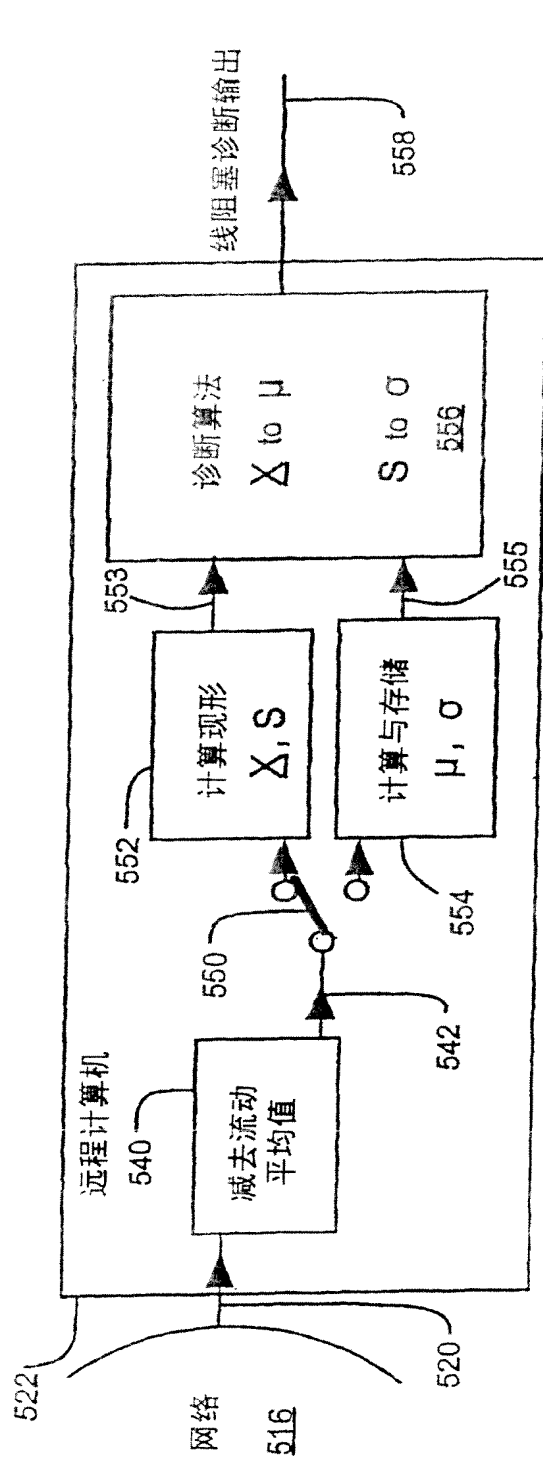


图 5

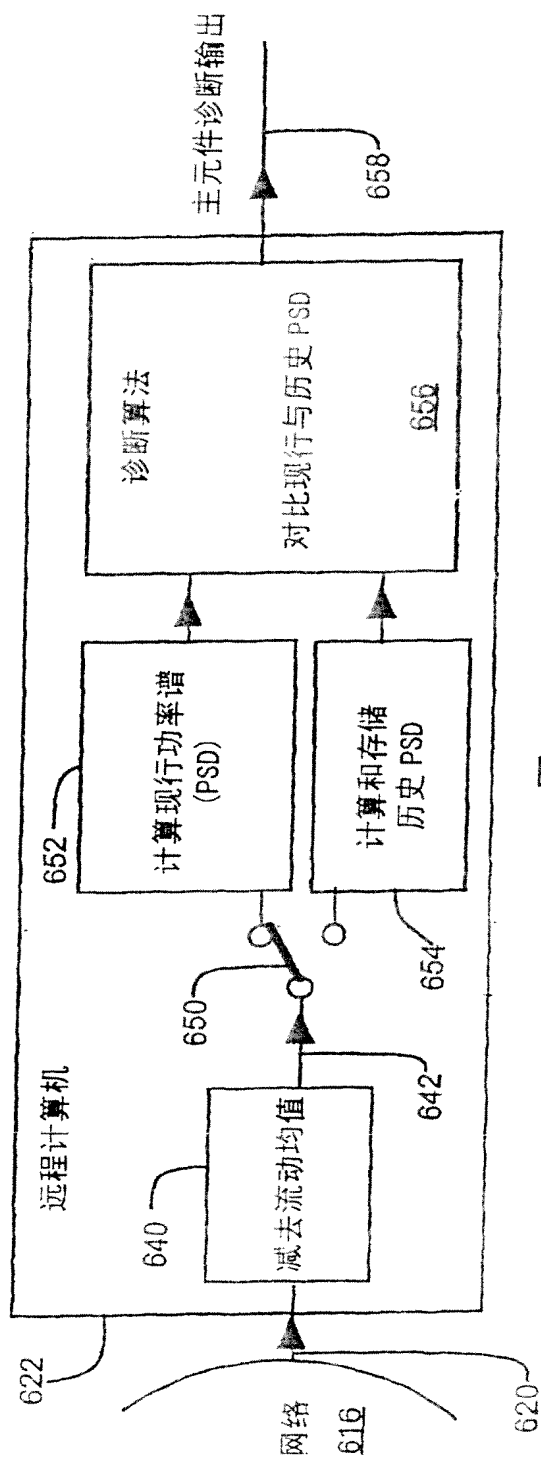


图 6

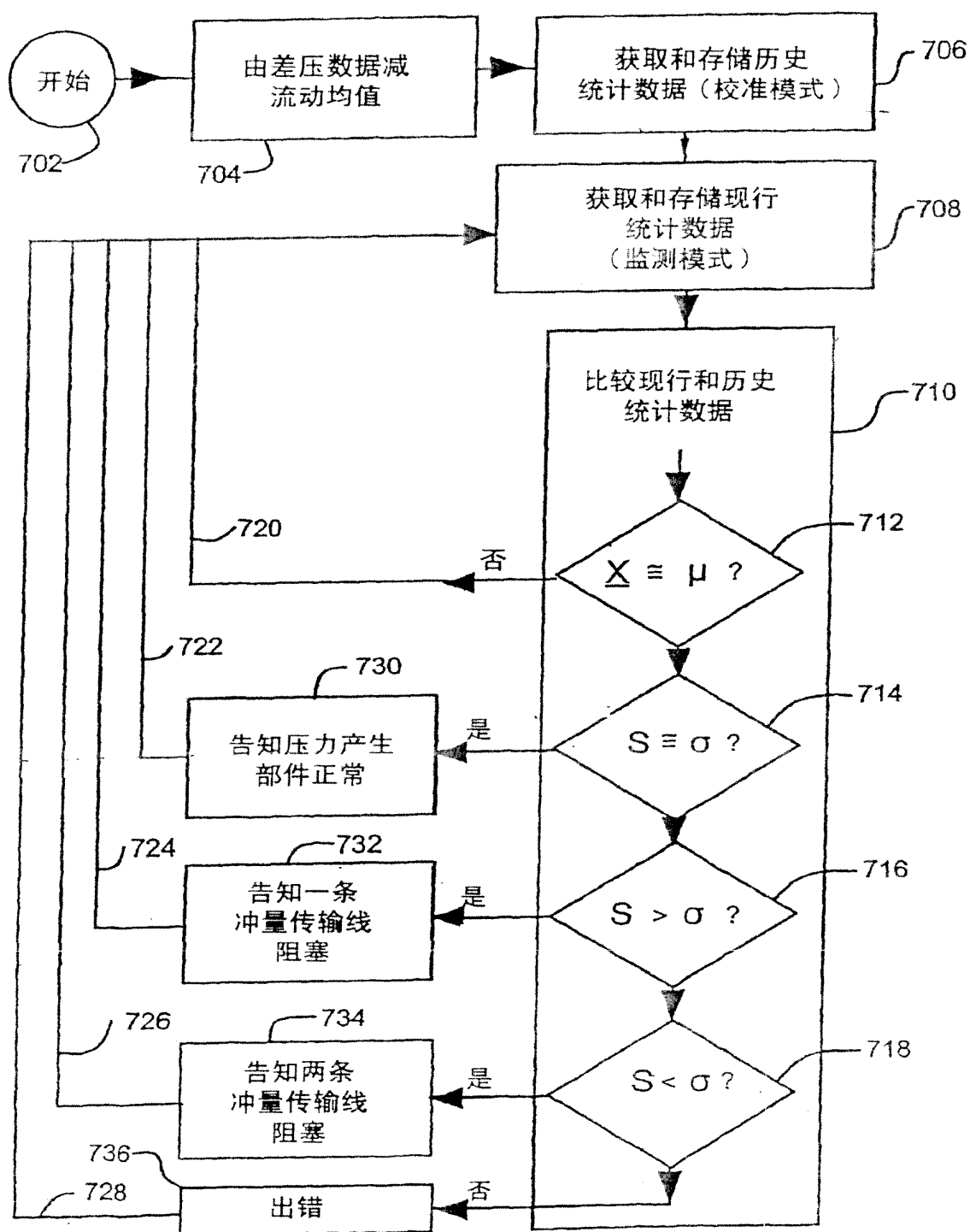


图 7

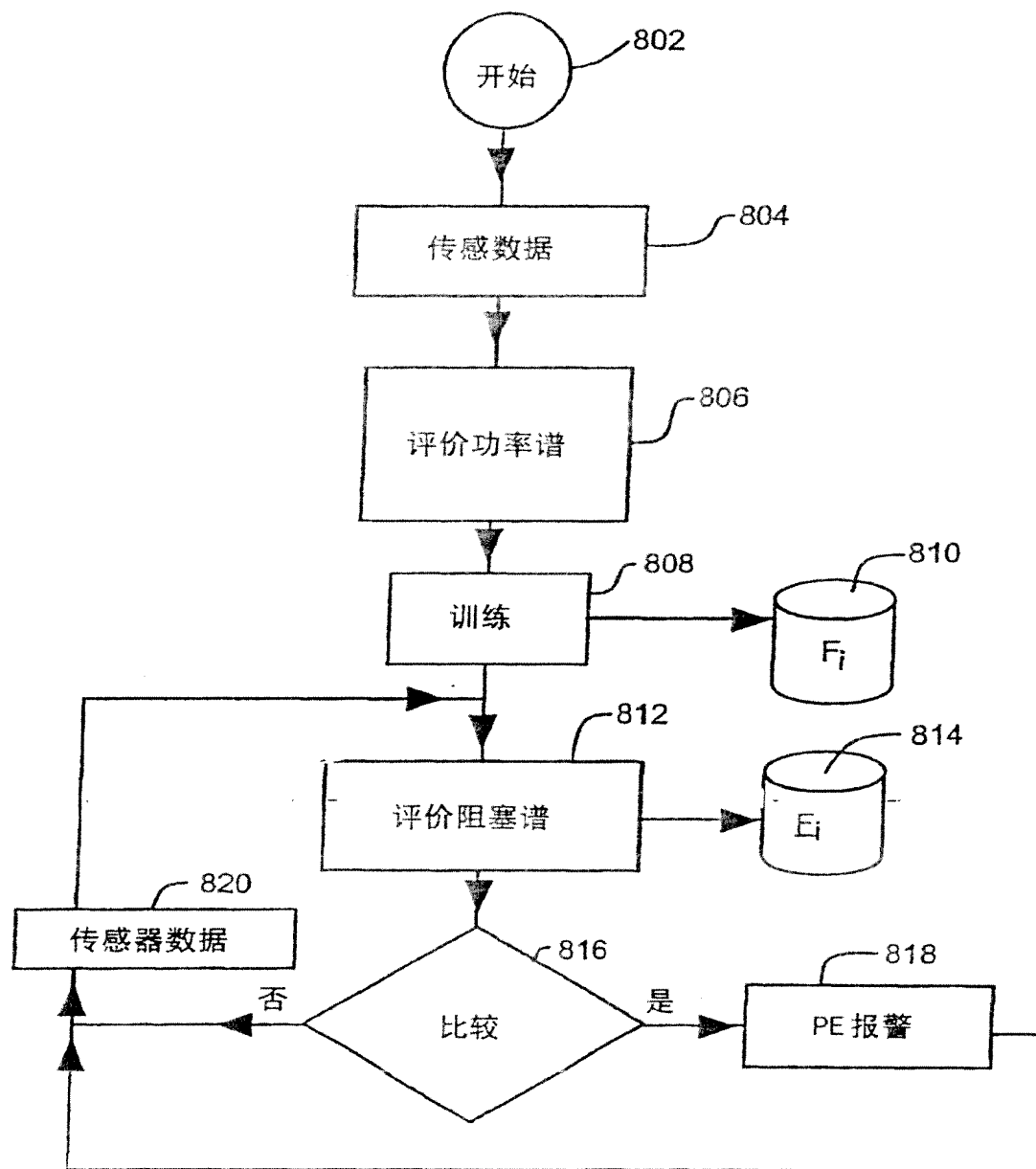


图 8

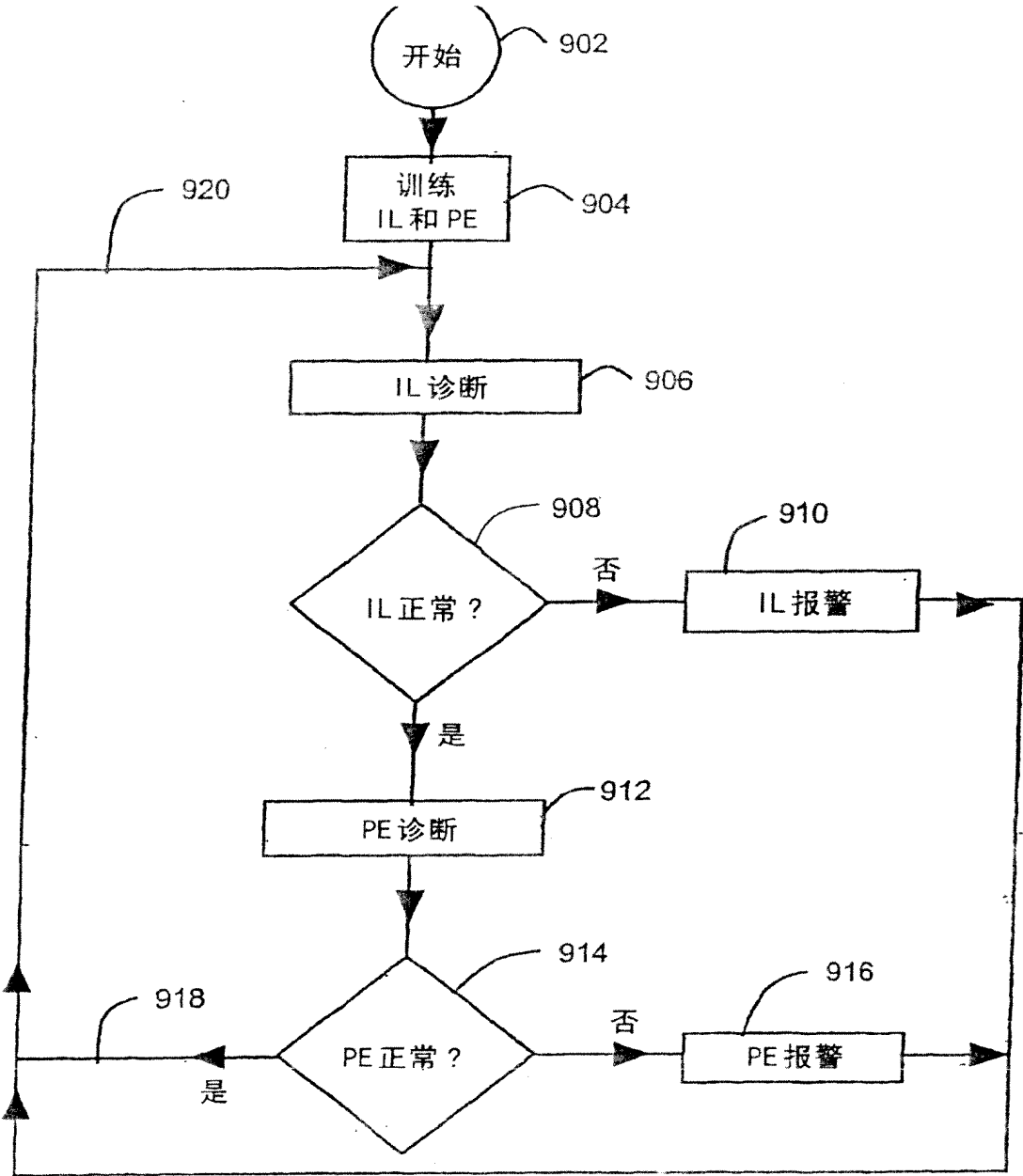


图 9

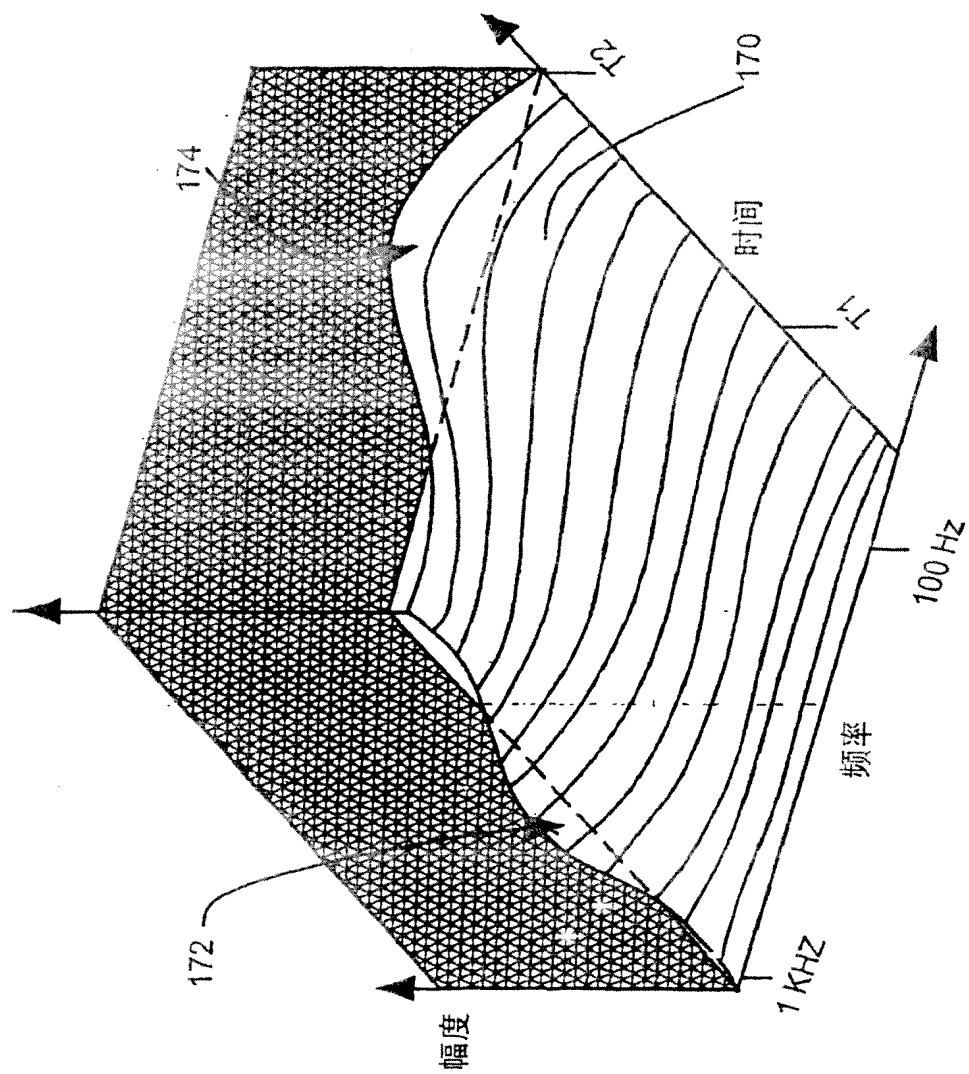
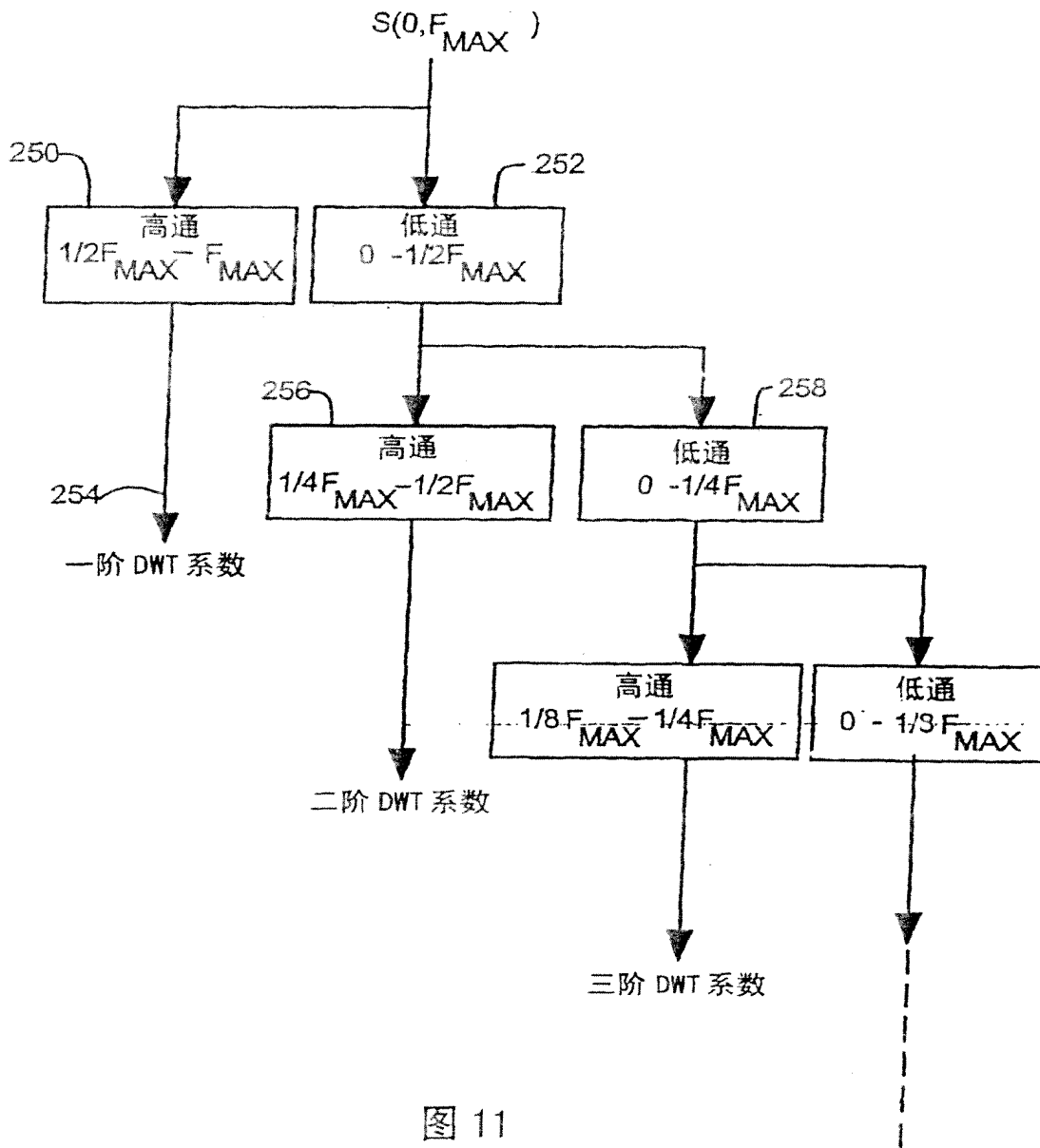
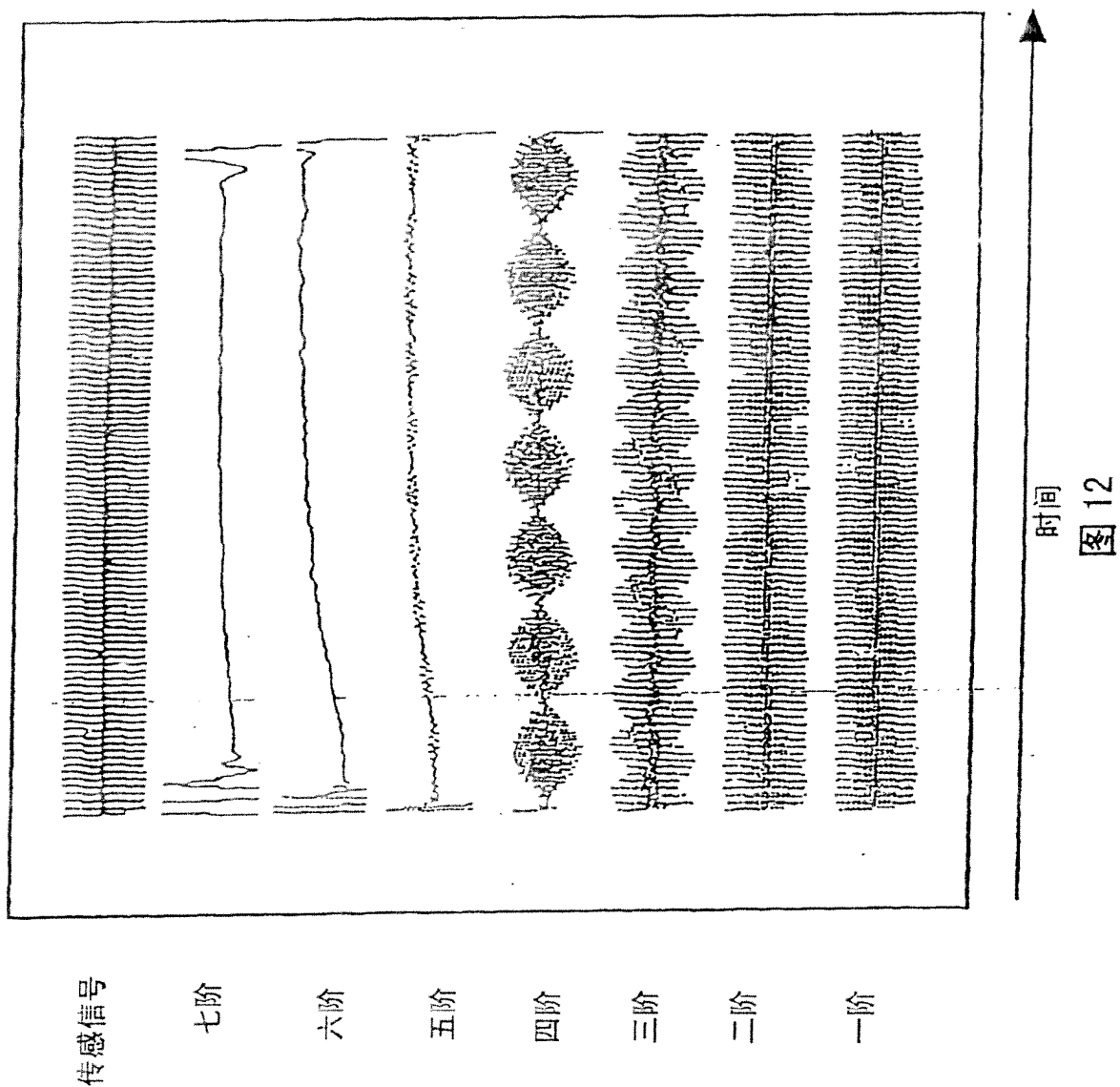
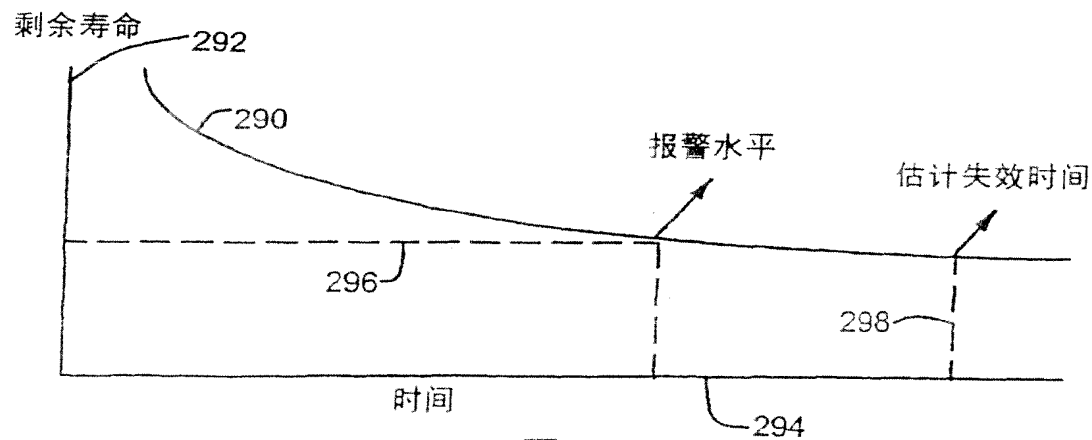
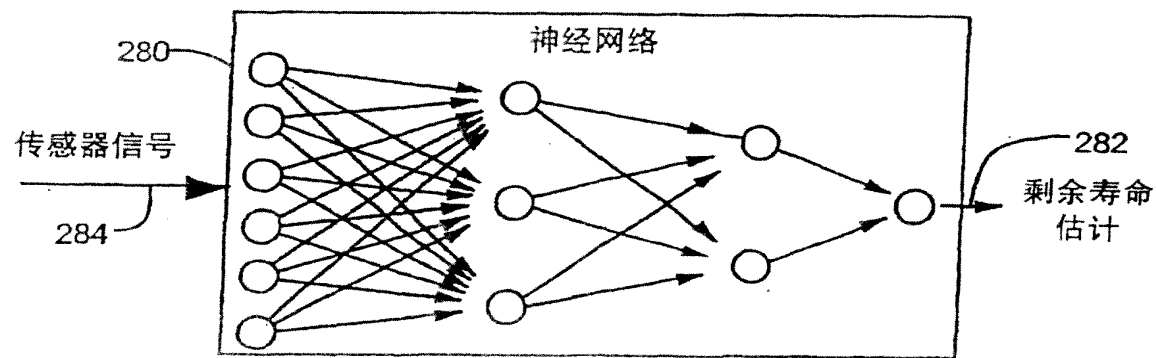
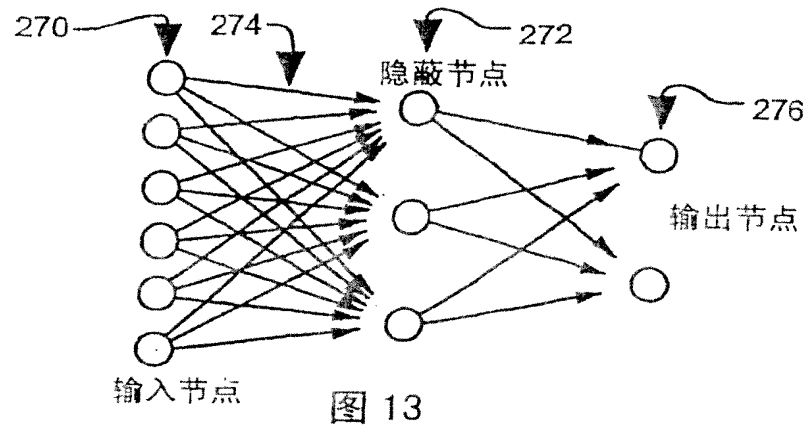


图 10









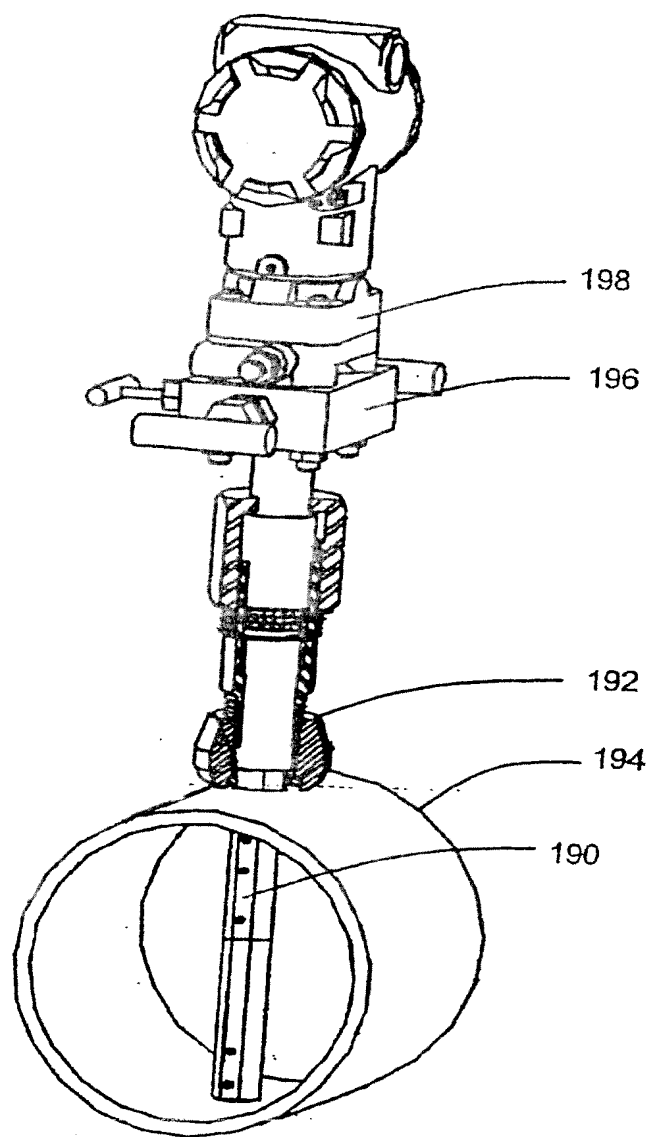


图 16

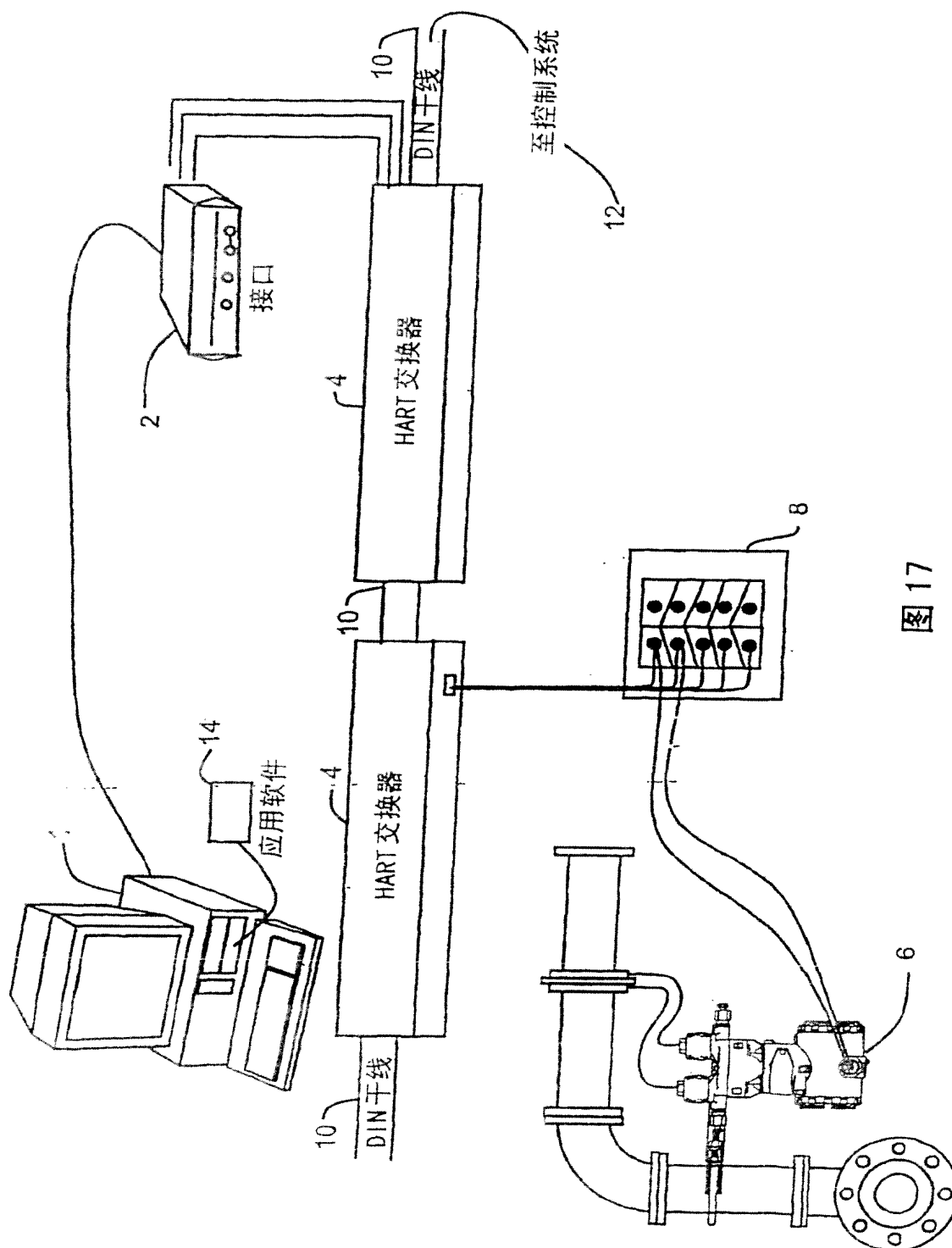


图 17